



(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 41763 A1** (51) Cl. internationale : **G05F 1/67**
(43) Date de publication : **31.07.2019**

-
- (21) N° Dépôt : **41763**
(22) Date de Dépôt : **04.01.2018**
(71) Demandeur(s) : **Université Ibn Zohr, Quartier Ryad Salam BP:32/S, Agadir, 80000 (MA)**
(72) Inventeur(s) : **EL MENTALY Lahcen ; AMGHAR Abdellah ; SAHSAH Hassan**
(74) Mandataire : **TOUALI Najat**

-
- (54) Titre : **Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation de la tension optimale VMPP d'un module photovoltaïque**
- (57) Abrégé : Dans ce brevet, nous avons développé une nouvelle technique du suivi du point à puissance maximale (PPM) qui appartient à la famille des techniques MPPT (Maximum Power Point Tracking) associées aux générateurs photovoltaïques. Cette méthode est basée sur la corrélation linéaire qui existe entre la température, l'éclairement solaire et la tension optimale correspondante au point à maximum de puissance. En conséquence, l'extraction de la puissance maximale à partir d'un module photovoltaïque sera très facile à l'aide du calcul de la tension optimale en se basant sur la mesure de l'éclairement solaire et de la température, ensuite la déduction directe du rapport cyclique optimal du convertisseur statique. L'atout major de cette technique est le repérage instantané et en temps réel du point à maximum de puissance ainsi qu'elle est facile à implanter dans n'importe quel convertisseur statique associé à n'importe quel générateur photovoltaïque. Mots clés : Maximum Power Point Tracking (MPPT), Module Photovoltaïque, Tension optimale VMPP, Convertisseur DC-DC, Convertisseur Buck.

Abrégé du contenu de l'invention

Dans ce brevet, nous avons développé une nouvelle technique du suivi du point à puissance maximale (PPM) qui appartient à la famille des techniques MPPT (Maximum Power Point Tracking) associées aux générateurs photovoltaïques. Cette méthode est basée sur la corrélation linéaire qui existe entre la température, l'éclairement solaire et la tension optimale correspondante au point à maximum de puissance. En conséquence, l'extraction de la puissance maximale à partir d'un module photovoltaïque sera très facile à l'aide du calcul de la tension optimale en se basant sur la mesure de l'éclairement solaire et de la température, ensuite la déduction directe du rapport cyclique optimal du convertisseur statique. L'atout major de cette technique est le repérage instantané et en temps réel du point à maximum de puissance ainsi qu'elle est facile à implanter dans n'importe quel convertisseur statique associé à n'importe quel générateur photovoltaïque.

Mots clés : Maximum Power Point Tracking (MPPT), Module Photovoltaïque, Tension optimale V_{MPP} , Convertisseur DC-DC, Convertisseur Buck.

Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation de la tension optimale V_{MPP} d'un module photovoltaïque

Description de l'invention

Introduction

Un générateur photovoltaïque (PV) que ça soit une cellule, ou un ensemble de cellules interconnectées, peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortie, mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de tension appelées respectivement courant optimal I_{MPP} et tension optimale V_{MPP} .

En outre, La puissance électrique produite par une cellule solaire photovoltaïque dépend fortement de l'éclairement solaire et de la température. La fluctuation de ces deux paramètres provoque le changement de la caractéristique courant-tension du générateur photovoltaïque ce qui entraîne le déplacement du point à maximum de puissance. À cet effet, un convertisseur DC-DC doit être inséré entre le générateur photovoltaïque et la charge (le récepteur) afin de contrôler le courant dudit générateur pour qu'il converge vers la valeur de la tension optimale V_{MPP} . Ce convertisseur doit être capable de faire fonctionner le générateur photovoltaïque à sa puissance maximale par le biais d'un contrôleur de suivi connu dans la littérature sous le nom MPPT (Maximum Power Point Tracking). Ce dernier, est basé sur l'utilisation d'un algorithme de recherche du maximum de la courbe de puissance du générateur photovoltaïque.

À ce jour, plusieurs techniques MPPT ont été publiées ou brevetées. Elles diffèrent dans de nombreux aspects tels que l'efficacité, la vitesse de convergence, la complexité, les capteurs nécessaires, le coût, la mise en œuvre du matériel, ainsi que divers autres aspects. Cependant, il est inutile d'utiliser une méthode plus complexe ou plus coûteuse si une plus simple et moins coûteuse conduit à des résultats similaires. C'est pourquoi certaines techniques publiées ne sont pas utilisées. La facilité de mise en œuvre et la notion du suivi en temps réel sont des facteurs très importants dans le choix de la technique MPPT à utiliser.

Dans ce travail, nous allons présenter une nouvelle méthode MPPT temps réel qui calcule la tension optimale V_{MPP} par une relation simple à implanter dans les systèmes embarqués et qui ne nécessite que la mesure de la température et de l'éclairement solaire.

Description de la méthode

La nouvelle méthode consiste à repérer le point à puissance maximale par le calcul de la tension optimale V_{MPP} comme suit :

$$V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$$

Avec V_{MPP} est la tension optimale en V, S est l'éclairement solaire reçu par le générateur photovoltaïque en w/m^2 et T est la température ambiante en °C.

γ_0 , γ_1 et γ_2 sont des constantes qui doivent être déterminées une seule fois et qui dépendent seulement du module PV utilisé.

L'algorithme de cette méthode est présenté ci-dessous :

1. Mesurer la tension de la charge (récepteur) notée V_{out}
2. Mesurer la température ambiante notée T
3. Mesurer l'éclairement solaire notée S
4. Calculer la tension optimale V_{MPP} par la relation $V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$
5. Le rapport cyclique optimal noté α sera calculée par la relation liant le rapport cyclique, la tension d'entrée du convertisseur DC-DC et la tension de sortie de celui-ci.

Exemple : $\alpha = \frac{\text{Tension de sortie du convertisseur}}{\text{Tension d'entrée du convertisseur}}$ pour le convertisseur buck, avec Tension de sortie du convertisseur = V_{out} et Tension d'entrée du convertisseur = V_{MPP} .

6. Revenir à la ligne 1

Avant d'appliquer cet algorithme, il faut au préalable déterminer les constantes γ_0 , γ_1 et γ_2 du générateur PV par une méthode d'apprentissage qui consiste à établir, par la simulation, un système de trois équations libres et de le résoudre par une méthode de résolution des systèmes à trois équations et trois inconnus.

$$\begin{cases} V_{MPP1} = \gamma_0 + \gamma_1 S_1 + \gamma_2 T_1 \\ V_{MPP2} = \gamma_0 + \gamma_1 S_2 + \gamma_2 T_2 \\ V_{MPP3} = \gamma_0 + \gamma_1 S_3 + \gamma_2 T_3 \end{cases}$$

Tout calcul fait, on trouvera :

$$\gamma_0 = \frac{-S_1(V_{MPP2}T_3 - V_{MPP3}T_2) + S_2(V_{MPP1}T_3 - V_{MPP3}T_1) + S_3(V_{MPP2}T_1 - V_{MPP1}T_2)}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

$$\gamma_1 = \frac{(V_{MPP2}T_3 - V_{MPP3}T_2) - (V_{MPP1}T_3 - V_{MPP3}T_1) - (V_{MPP2}T_1 - V_{MPP1}T_2)}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

$$\gamma_2 = \frac{S_1(V_{MPP2} - V_{MPP3}) + S_2(V_{MPP3} - V_{MPP1}) + S_3(V_{MPP1} - V_{MPP2})}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

Cette opération de détermination des coefficients γ_0 , γ_1 et γ_2 doit être faite une seule fois, soit d'une façon automatique, c.-à-d. que le microcontrôleur va mesurer trois points non liés et d'appliquer les relations décrites ci-dessus, ou d'une manière manuelle via la simulation par un logiciel adéquat.

Démonstration de la méthode

Grâce aux logiciels Matlab et PSIM, nous avons pu découvrir une corrélation linéaire trois dimensions entre la tension optimale V_{MPP} , la température ambiante T et l'éclairement solaire S .

En effet, nous avons étudié le comportement de la tension optimale V_{MPP} en fonction de différentes températures et éclairagements solaires. Ensuite, nous avons tracé cette tension en fonction de la température et de l'éclairement solaire, et grâce à la régression linéaire de trois vecteurs (V_{MPP} , T , S), nous avons obtenu l'équation ci-dessous :

$$V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T + \gamma_3 S T$$

Afin de donner plus de certitude à notre méthode, nous avons choisi trois modules photovoltaïques différents; la régression linéaire pour ces trois modules a montré que le coefficient γ_3 est toujours nul ce qui amène à l'équation finale :

$$V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$$

Le tableau ci-dessous récapitule le modèle décrit pour les trois modules PV utilisés :

Marque du module PV	Type du module PV	γ_0	γ_1	γ_2	γ_3	R^2
First solar FS-265	Couches minces CdS/CdTe	44.3657	0.025	-0.1066	0	0.8902
Koyocera KD215GX	Polycristallin	27.52	0.0019	-0.1143	0	0.977
Sun Power E19 320	monocristallin	54.3638	0.0041	-0.2026	0	0.9689

Nous remarquons très bien que le coefficient de détermination R^2 est supérieur à 0.9 pour le silicium monocristallin et multi-cristallin et très proche de 0.9 pour les couches minces.

La figure 1 représente le modèle de régression pour le module PV Koyocera KD215GX.

Exemple d'application

Afin de prouver la performance de la méthode proposée, nous l'avons appliqué sur le MSX-60 qui s'agit d'un module PV poly-cristallin de Solarex. Celui-ci sera connecté à un convertisseur DC-DC abaisseur de type Buck. Le système servira à charger une batterie de 12v comme indiqué dans la figure 2.

La figure 3 montre que le contrôleur proposé suit en permanence et en temps réel la puissance maximale d'une manière parfaite quel que soient les conditions climatiques indiquées dans la figure 4.

Revendications

1. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - 1.1. Mesurer la température notée T et l'éclairement solaire noté S
 - 1.2. Calculer la tension optimale notée V_{MPP} correspondante au point à maximum de puissance via l'équation $V_{MPP} = \gamma_0 + \gamma_1 S + \gamma_2 T$ avec γ_0 , γ_1 et γ_2 sont des constantes qui ne dépendent que du module photovoltaïque utilisé.
 - 1.3. Agir sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC pour atteindre la tension optimale V_{MPP}
2. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il peut être implanté dans un contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking).
3. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il peut être implanté dans n'importe quel système embarqué.
4. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2 et 3, caractérisé en ce qu'il peut être associé à n'importe quel convertisseur DC-DC ou DC-AC.
5. Le procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2, 3 et 4, caractérisé en ce qu'il peut être associé aux cellules amorphes, poly-cristallines, monocristallines ou couches minces.

Figures et schémas

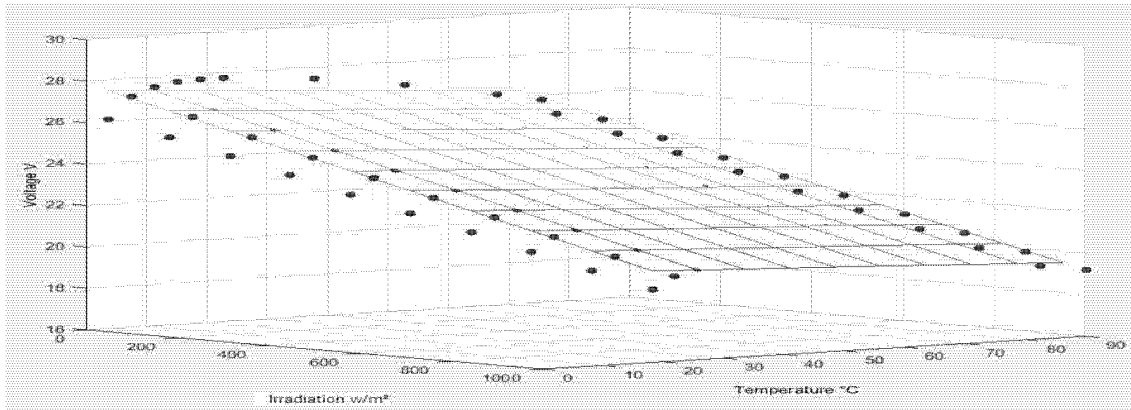


Figure 1: le modèle de régression pour le module PV Koyocera KD215GX

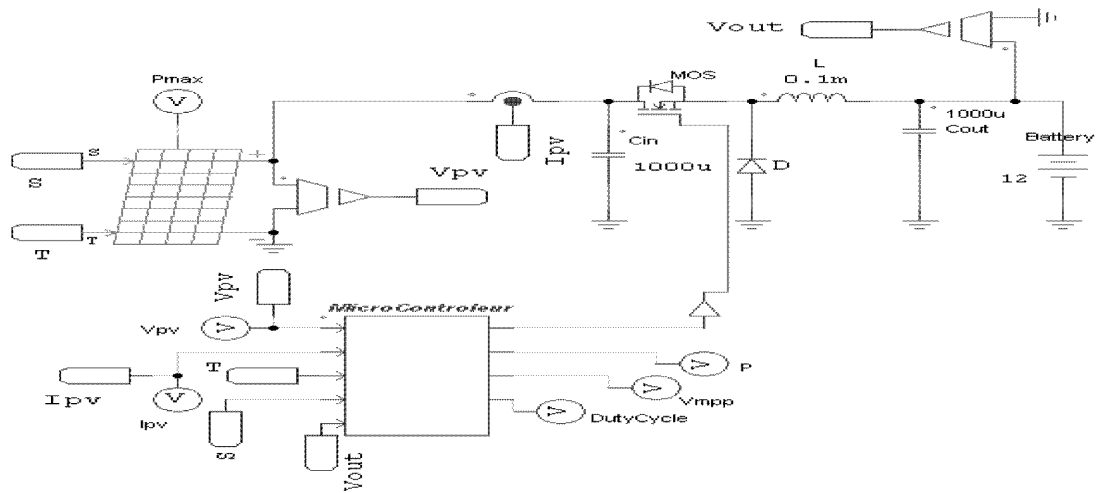


Figure 2: le schéma complet du contrôleur MPPT associé au convertisseur Buck

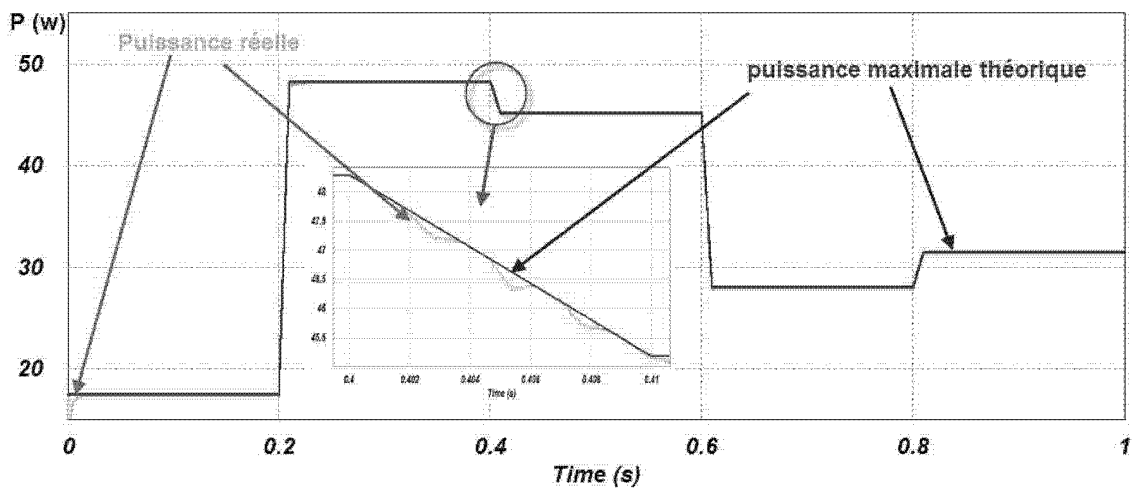


Figure 3: L'allure de la puissance réelle instantannée du module MSX-60

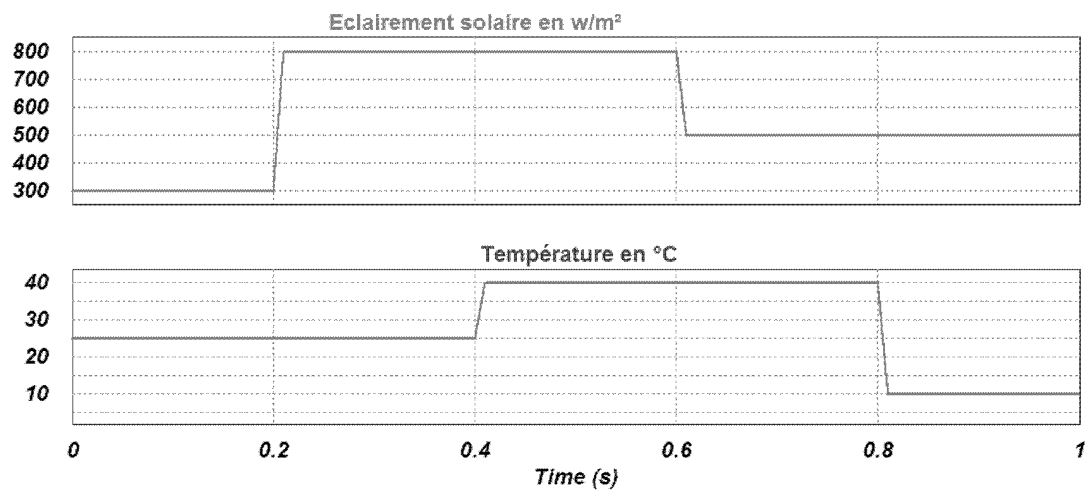
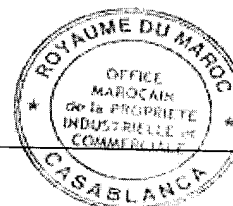


Figure 4: Les allures de l'éclairement solaire et de la température appliqués au module MSX-60



**RAPPORT DE RECHERCHE
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et
complétée par la loi 23-13)

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 41763	Date de dépôt : 04/01/2018
Déposant : Université Ibn Zohr	
Intitulé de l'invention : Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation de la tension optimale VMPP d'un module photovoltaïque	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site http://worldwide.espacenet.com , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention	
Examineur: I. Oubiyi	Date d'établissement du rapport : 14/09/2018
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	



Partie 1 : Considérations générales

Cadre 1 : base du présent rapport

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description
5 Pages
- Revendications
5
- Planches de dessin
2 Pages

Partie 2 : Rapport de recherche

Classement de l'objet de la demande :

CIB : G05F1/67

CPC : Y02E10/58, Y02E10/50

Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :

EPOQUE, Orbit

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X	US20110224839A1 ; Christopher Thompson ; 15-09-2011	1-5
X	Dynamic behaviour of PV generator trackers under irradiation and temperature changes ; A. Zegaoui, M. Aillerie, P. Petit, J.P. Sawicki, J.P. Charles, A.W. Belarbi ; 24-09-2011	1-5
A	CN106055019B ; SUZHOU UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY ; 26-10-2016	1-5
A	CN102622034B ; UNIV ZHEJIANG ; 01-08-2012	1-5

***Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs

-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité

Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

Nouveauté (N)	Revendications aucune Revendications 1-5	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications aucune Revendications 1-5	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-5 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : US20110224839A1

1. Nouveauté (N) et Activité inventive (AI) :

Le document D1 divulgue toutes les caractéristiques techniques définies par la revendication 1 (les références entre parenthèses s'appliquent à ce document) :

un procédé de localisation de la tension optimale du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire, comprenant les étapes suivantes (voir fig. 2, §[0013] et [0019]) :

- Mesurer la température et l'éclairement solaire ;
- Calculer la tension optimale V_{mpp} ;
- Changer le point de fonctionnement du système d'alimentation solaire en l'ajustant sur le nouveau point MPP.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 n'est pas nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications dépendantes 2-5 ne semblent pas contenir des caractéristiques supplémentaires qui satisfassent aux exigences de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 en matière de nouveauté en étant combinées aux caractéristiques de la revendication 1 auxquelles lesdites revendications dépendantes sont liées.

2. Possibilité d'application industrielle (PAI) :

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.